



高职高专“十二五”规划教材

# 数控加工工艺与编程

SHUKONG JIAGONG GONGYI YU BIANCHENG

主 编 刘宏军

- 体现职业能力，突出当代技术
- 互动式项目化教学，实用够用
- 开拓视野，促进职业发展

上海科学技术出版社



高职高专“十二五”规划教材

# 数控加工工艺与编程

SHUKONG JIAGONG GONGYI YU BIANCHENG

主 编 刘宏军

上海科学技术出版社

图书在版编目(CIP)数据

数控加工工艺与编程 / 刘宏军主编. —上海:上海  
科学技术出版社, 2011.7  
高职高专“十二五”规划教材  
ISBN 978-7-5478-0827-6

I. ①数… II. ①刘… III. ①数控机床-加工工艺  
-高等职业教育-教材 ②数控机床-程序设计-高等  
职业教育-教材 IV. ①TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 091606 号

数控加工工艺与编程

SHANGHAI JIAOYU KEXUE CHUBANSHE

刘宏军 主编

上海世纪出版股份有限公司 出版、发行  
上海科学技术出版社

(上海钦州南路71号 邮政编码200235)

新华书店上海发行所经销

常熟市兴达印刷有限公司印刷

开本 787×1092 1/16 印张: 14.75

字数: 324 千字

2011年7月第1版 2011年7月第1次印刷

ISBN 978-7-5478-0827-6/TG·44

定价: 32.50 元

---

本书如有缺页、错装或坏损等严重质量问题,  
请向工厂联系调换

# 作者名单

Authors

数控加工工艺与编程

主 编 刘宏军

副主编 刘萍萍 黄 杰

参 编 王 洋 张福荣

本书根据高等职业院校机械制造类专业数控加工工艺与编程课程核心知识及职业技能要求编写而成。全书由数控加工工艺基础、数控机床及刀具选用、数控车加工工艺与编程基础、数控车高级工艺编程、数控铣加工工艺编程基础、数控铣高级工艺编程、CAD/CAM 工艺编程技术七个项目单元构成。

本书各教学项目有相对的独立性,可作为高职高专及成人教育模具、数控、机械设计制造等专业数控加工工艺与编程课程的教学用书,也可供从事数控加工技术的工程技术人员参考。

# 前言

## Preface

数控加工工艺与编程

数控加工工艺与编程是机械制造类专业核心课程,是当代制造业广泛应用的数控加工技术基础。本书结合国家示范专业建设课程改革成果,通过长三角地区企业和高职院校调研,在重点把握核心知识和核心技能的同时,将机械加工工艺与数控加工工艺有机结合,形成以职业工作项目引领,具体工作任务驱动,培养学生数控加工工艺分析与编程技能,独立完成具体零件加工工艺文件为目标的教学内容体系及结构。

本书根据专业知识与技能增长递进规律,较为全面、系统地介绍数控机床切削加工的工艺知识;结合国家数控机床操作工中、高级职业技能标准,重点介绍数控车削加工和数控铣削加工工艺编程的基础知识和技术路线;并通过典型案例,按职业工作过程描述从零件图分析到完成加工程序编制的工艺过程,使读者身临其境地体验具体工作项目数控加工工艺与编程的技术思想和方法。全书强化了基本工艺和数控加工工艺编程训练,将CAD/CAM技术作为职业高层次发展方向,使学习者能够更好地适应我国数字制造等现代制造业对人才的需求。

在编写过程中编者力求突出如下特色:

1. 体现职业能力,突出职业素质,反映能力发展规律,通俗易懂。

教材遵循职业能力递进规律,采用循序渐进的方式,由浅入深地介绍各种数控加工技术的应用,并将数控程序员、数控车、数控铣职业能力融入教学内容之中。教材力求文风朴实,专业术语规范,通俗易懂。

2. 突出当代技术,实用性强,应用范围广。

教材将数控加工现代技术与传统机械加工工艺相融合,突出现代技术应用;将数控机床加工工艺与数控加工程序相统一,强调工艺在先、加工在后,工艺合理、高效工艺编程技巧等技术。内容充分考虑国内各高职院校数控技术专业方向,并兼顾机械制造及其自动化专业群的教学特点,使用范围广且颇为实用。

3. 互动式项目化教学,结构严谨,层次分明。

教材以项目引领、以任务驱动,以完成具体工作任务引出问题,以启发式教学为主来编排知识点,充分调动了学习者的积极性和创造性。

#### 4. 格调清新,适用够用。

教材以多层面、全方位、焕然一新的排版方式,详细介绍了数控加工的工艺与编程方法,核心知识点突出,与相关数控加工职业能力标准相对应,深度适用够用。

#### 5. 开拓视野,促进职业发展。

本书由南京工业职业技术学院刘宏军任主编,南京化工职业技术学院刘萍萍和南京工业职业技术学院黄杰任副主编。具体编写分工如下:项目一、项目二由刘宏军、沙洲职业工学院张福荣编写,项目三~项目六由刘萍萍、黄杰编写,项目七由苏州农业职业技术学院王洋编写。全书由刘宏军负责统稿和定稿。

由于编者水平有限,教材中仍可能有一些疏漏和不妥之处,恳请各教学单位及读者多提宝贵意见,以便以后修订时改进。

编者

<b>项目一 数控加工工艺基础</b> .....	1
<b>任务一 数控加工工艺特点与过程</b> .....	1
一、数控加工工艺特点 .....	1
二、数控加工工艺过程 .....	2
<b>任务二 数控加工定位基准与安装</b> .....	4
一、定位基准选择 .....	4
二、工件的安装 .....	6
<b>任务三 加工方法及加工阶段划分</b> .....	9
一、加工方法的选择 .....	9
二、加工阶段 .....	13
三、工序 .....	14
四、加工顺序制定原则 .....	15
五、非数控加工工序 .....	16
<b>任务四 数控加工工序尺寸确定</b> .....	16
一、加工余量 .....	17
二、工序尺寸及其公差确定 .....	21
<b>任务五 切削用量选择</b> .....	24
一、切削用量 .....	24
二、时间定额的确定 .....	26
<b>任务六 数控加工工艺文件设计</b> .....	27
一、轴类零件数控加工工艺规程设计 .....	27
二、套类零件数控加工工艺规程设计 .....	31
<b>项目二 数控机床及刀具选用</b> .....	36
<b>任务一 数控车削刀具</b> .....	36
一、数控刀具基本知识 .....	36
二、数控车刀 .....	37



任务二 数控铣削刀具 .....	40
一、平面轮廓加工铣刀 .....	40
二、曲面加工铣刀(模具铣刀) .....	40
三、孔加工刀具 .....	41
任务三 数控机床选择 .....	43
一、数控机床基本知识 .....	43
二、按轮廓加工控制的坐标轴数进行分类 .....	46
三、按伺服控制方式分类 .....	48
四、按加工工艺类型分类 .....	49
任务四 数控机床加工装备选择综合应用 .....	49
一、图纸分析 .....	49
二、机床选择 .....	51
三、刀具选择 .....	51
项目三 数控车加工工艺与编程基础 .....	53
任务一 数控车削工艺基础 .....	53
一、数控车加工特点 .....	53
二、数控车加工工艺过程 .....	54
任务二 数控车工艺编程基础 .....	61
一、编程基础 .....	61
二、功能指令 .....	65
任务三 实心轴类零件数控车工艺与编程 .....	74
一、工艺准备 .....	74
二、精加工加工程序编制 .....	75
三、G01 指令应用技巧 .....	81
任务四 循环指令内回转面数控车工艺编程 .....	83
一、工艺准备 .....	83
二、加工程序编制 .....	84
三、单循环指令学习 .....	87
任务五 复合循环指令的学习 .....	91
一、G71——内径/外径粗车复合循环 .....	91
二、G72——端面粗车复合循环指令 .....	93
三、G73——轮廓粗车复合循环指令 .....	95
四、G70——轮廓精加工循环指令 .....	97
五、G76——螺纹车削复合循环 .....	98
任务六 复合循环指令应用 .....	99
一、外表面循环加工 .....	99
二、内表面循环加工 .....	102

项目四 数控车高级工艺编程 .....	109
任务一 子程序、宏程序工艺编程 .....	109
一、子程序 .....	109
二、宏程序 .....	110
任务二 正弦线的加工 .....	114
一、工艺准备 .....	115
二、加工程序编制 .....	115
任务三 数控车加工编程技巧 .....	116
一、刀尖半径补偿指令 .....	116
二、与参考点有关的指令 .....	119
三、自动倒角、倒圆角指令 .....	120
项目五 数控铣加工工艺编程基础 .....	126
任务一 数控铣削工艺技术基础 .....	126
一、数控铣床 .....	126
二、工件的安装 .....	128
三、加工工艺基础 .....	130
任务二 数控铣加工基本编程指令 .....	135
一、功能指令 .....	136
二、刀具补偿功能指令 .....	140
任务三 固定循环指令编程 .....	146
一、固定循环功能和工作过程 .....	146
二、固定循环指令 .....	148
项目六 数控铣高级工艺编程 .....	164
任务一 子程序、宏程序 .....	164
一、子程序 .....	164
二、宏程序 .....	167
任务二 基本数控铣削工艺与编程 .....	168
一、工艺设计准备 .....	169
二、工艺卡设计 .....	169
三、编写加工程序 .....	170
任务三 复杂工艺数控铣编程 .....	171
一、应完成的作业文件 .....	172
二、手工编制加工成程序 .....	173
任务四 组合件数控铣工艺编程 .....	177
一、工艺分析与设计 .....	179
二、凸模数控铣削加工程序的编制 .....	180
三、凹模数控铣削加工程序的编制 .....	185

项目七 CAD/CAM 工艺编程技术 .....	195
任务一 CAD/CAM 技术基础 .....	195
一、CAD/CAM 相关术语 .....	195
二、CAD/CAM 软件 .....	198
三、CAD/CAM 技术应用与发展 .....	198
任务二 UGNX4 软件 CAM 应用基础 .....	201
一、UG-CAM 启动 .....	201
二、UG-CAM 工艺编程过程实例 .....	206
任务三 CAM 加工轨迹仿真检验及自动编程 .....	211
一、CAM 铣削方法 .....	211
二、轨迹仿真 .....	216
三、轨迹仿真检验及自动编程实例 .....	217

## 项目一

## 数控加工工艺基础

- 【教学目标】熟悉数控加工工艺过程,了解数控加工生产过程中所需的技术信息和工艺装备。
- 【职业能力】具有阅读和拟定数控加工工艺文件能力。
- 【核心知识】数控加工工艺基本概念、数控加工工艺特点、数控加工工艺参数、数控加工工艺规程。
- 【教学建议】与普通机床加工的工艺过程及特点对比分析。

### 任务一 数控加工工艺特点与过程

【技能目标】理解数控加工工艺过程,具有选择数控加工方法的基本能力。

【知识点】数控加工工艺特点、数控加工工艺过程。

#### 一、数控加工工艺特点

##### (一) 加工原理特点

数控机床是采用数字控制技术,以数字量作为指令信息,通过计算机控制机床的运动及其整个加工过程的机械加工设备。数控机床的各种操作如主轴启动与停止、主轴变速、工件夹松、刀具进退、冷却液自动关停等都是用数字代码的程序指令表示,通过控制介质(如磁盘)将数字信息输送到控制装置,经计算机处理和运算,转化为电信号控制机床的伺服系统及其他驱动元件使机床自动加工出所要求的工件。

##### (二) 数控加工的基本条件

###### 1. 工艺装备

数控机床及相应的刀具、量具是数控加工系统的基本工艺装备。

###### 2. 加工程序

数控机床加工必须有加工程序执行和控制,简单的加工程序可采用手工编制,复杂的要应用 CAD/CAM 技术生成的自动加工程序。

##### (三) 适用性特点

并非所有的零件都适合数控加工,可以按其工艺适应程度确定。

###### 1. 最适应数控加工类

(1) 形状复杂,加工精度要求高,用通用机床无法加工或虽然可以加工但加工效率低或

难以保证加工质量的零件。

- (2) 用数学可以描述的复杂曲线和曲面。
- (3) 进给运动难控制,尺寸难测量的加工面。
- (4) 定位精度较高,需一次安装合并完成铣、镗、钻铰、攻螺纹等多工序的零件。

**注意** 此类零件都应采用数控加工,不必过多考虑加工效率和加工经济性。只注重加工的可能性。

## 2. 较适应数控加工类

(1) 在通用机床上加工易受人为因素干扰,且零件材料价值高,一旦加工质量失控将造成较大的经济损失的零件。

(2) 在通用机床上加工,必须设计、制造复杂专用工艺装备的零件。

(3) 在通用机床上加工和调整时间长的零件。

(4) 在通用机床上加工,生产率低或劳动强度大的零件。

**注意** 此类零件既要考虑其可加工性,还要注重加工的效率和经济性。一般将数控加工作为优先选择方案。

## (四) 工艺特点

数控机床加工与普通机床加工比较,在许多方面遵循相同的工艺原则。但由于数控机床加工自动化程度高,操作、控制方式不同,设备使用、维护费用较高,因此,数控加工工艺具有一些不同于普通机床的特点:

### 1. 工艺设计严密性

数控机床不能像通用机床在加工时对于出现的问题进行灵活自由的人为调整。尽管数控加工的自动化程度高,但自适应能力差,不能对加工中出现的所有问题进行自适应调整。所以数控加工工艺设计必须考虑周全,注重加工过程中的每一环节和细节,结合加工对象、刀具等条件,科学合理设计工艺文件。在加工造型和数据处理、计算和编程时,要力求准确无误,避免一个微小的设计差错可能造成的重大机床事故和质量事故。

数控加工工艺设计必须在程序编制工作开始前完成。工艺方案设计的好坏不仅影响机床效率的发挥,也直接影响被加工零件的加工质量。工艺设计考虑不周是造成数控加工差错的主要原因。

### 2. 工艺内容具体性

用传统的机床进行零件加工的许多工艺问题(如工序、工步划分及顺序安排,刀具的选择,切削用量等),无需在设计工艺规程时给予过多的考虑,主要由操作人员根据经验和加工习惯决定。但在数控加工中,编程人员在编入加工程序前,必须认真全面考虑数控加工的整个过程,作出正确计算,选择合理工艺方法。也就是说,过去由工艺人员设计的零件加工工艺文件,在数控加工中必须具体地体现在数控加工程序中。

## 二、数控加工工艺过程

数控加工工艺的主要过程是根据零件图样上的技术要求,确定加工方案,制定数控加工工艺路线(包含与非数控加工工序的衔接等),填写工艺文件,编制加工程序,采用数控机床完成零件的数控加工。

## （一）确定加工方案

零件加工方案的确定是根据主要加工表面的加工精度和表面粗糙度要求决定的。

首先要确定加工表面的精加工方法,再往前推导保证精加工工序要求的前道工序加工方法,依此类推,从而制定出从毛坯到最终加工成品的加工方案。

由于构成零件的各表面形状、精度要求不同,各表面加工方案的确定首先是要保证该表面图纸的精度和表面粗糙度要求,其次还要考虑加工方法的经济性。

同一表面采用不同功能的数控机床加工都能达到加工的技术精度,但经济效益区别却很大。例如,某一外形曲面的加工,若单纯从技术精度考虑,最好的加工方案是采用多轴联动的数控机床一次性连续加工完成,不但加工质量高,而且生产效率也高。但这种设备购买的价格昂贵,生产成本很大。如果采用2.5轴或3轴控制的数控机床也可以达到加工精度要求,其生产成本却可以减少许多。

## （二）划分工序

工序集中是数控机床加工的特点。在数控加工中,一次安装尽量完成大部分的加工。数控机床加工的工序划分应遵循以下原则:

### 1. 按加工内容划分工序

如果零件上有内腔、外型、曲面、平面、各种孔等,加工内容较多,则要根据零件的这些结构特点,将加工内容分成若干类别,然后选择机床,根据机床的加工功能合理划分、整合工序加工内容,并结合机床的类型,确定正确的定位、夹紧方案。

### 2. 按所用刀具划分工序

数控机床的加工功能与所使用的刀具是相对应的。改变所使用的刀具,可能意味着必须改换机床,也就意味着要增加一个工序。但在加工中心进行数控加工时,由于其复合的加工功能,在同台设备上,一次安装可以加工多种类型的零件结构,可以使用多种类型的刀具,相对具有工序更加集中的特点。应该注意的是,工序过分集中,工序加工内容过多,所需要的加工程序也会很大,会增加程序的出错率,同时查错检索时间长,修改困难。此外程序太大,也会受到数控系统内存容量和机床可允许连续工作时间的限制。

### 3. 按粗、精加工划分工序

当零件的加工质量要求较高时,一般应将加工过程划分为粗加工、半精加工、精加工三个阶段。在数控加工中要划分粗加工工序、精加工工序(经常将半精加工和精加工合并为一个工序)。

**注意** 粗加工主要是高效地切除加工表面上的大部分材料,使毛坯在形状和尺寸上接近成品零件。半精加工目的是为了切除粗加工留下的误差,为精加工做准备,并完成次要表面的加工,如钻孔、攻螺纹、铣键槽等。精加工目的是使重要表面达到零件图规定的加工质量要求。

### 4. 按加工顺序划分工序

- (1) 先加工定位基准面,再加工其他表面。
- (2) 先加工主要表面,后加工次要表面。
- (3) 先粗加工,后精加工。
- (4) 先加工平面和曲面,后加工孔。

**注意** 为改善工件切削性能安排的退火、正火、调质等热处理工序,要安排在切削加工之前进行。为消除工件内应力安排的热处理工序(如人工时效、退火等),特别是零件加工精度要求较高的工件,最好安排在粗加工工序之后进行,而对加工精度要求不高的工件,也可安排在粗加工之前。为改善工件材料力学性能的热处理,如淬火、渗碳淬火等,一般安排在半精加工和精加工(磨削)之间进行。

### (三) 工序计算及填写工艺卡

- (1) 分配加工余量、计算工序尺寸。
- (2) 选择零件的定位基准,确定夹具、辅具方案,选择刀具及切削用量、走刀路线等,即进行工步设计。
- (3) 将工步设计的内容填写在工艺卡中。

### (四) 编制数控加工程序

- (1) 在零件图上建立工件坐标系(编程坐标系),并进行必要的编程节点计算。
- (2) 确定对刀点和换刀点,确定必要刀具补偿等。
- (3) 理解所用数控机床及数控系统的工艺指令。
- (4) 编制加工程序。

## 任务二 数控加工定位基准与安装

**【技能目标】** 合理选择定位方法及定位基准。

**【知识点】** 定位基准、六点定位原理。

### 一、定位基准选择

#### (一) 基准的理解

基准是确定零件上某些点、线、面位置时所依据的那些相应的点、线、面。

基准一般是计算、测量或标注尺寸的起点。根据基准功用的不同,它可以分为设计基准和工艺基准两大类。

#### 1. 设计基准

设计基准是在零件图上用以确定其他点、线、面位置的基准。它是标注设计尺寸的起点。如图 1-1a 所示零件,平面 2、3 的设计基准是平面 1;平面 5、6 的设计基准均是平面 4;孔 7 的设计基准是平面 1 和 4。又如图 1-1b 所示的齿轮零件,齿顶圆、分度圆和内孔直径的设计基准均是孔的轴心线。

#### 2. 工艺基准

在零件加工、测量和装配过程中所使用的基准,称为工艺基准。按用途不同又可分为定位基准、工序基准、测量基准和装配基准。

1) 定位基准 在加工时,用以确定零件在机床夹具中的正确位置而所采用的基准,称定

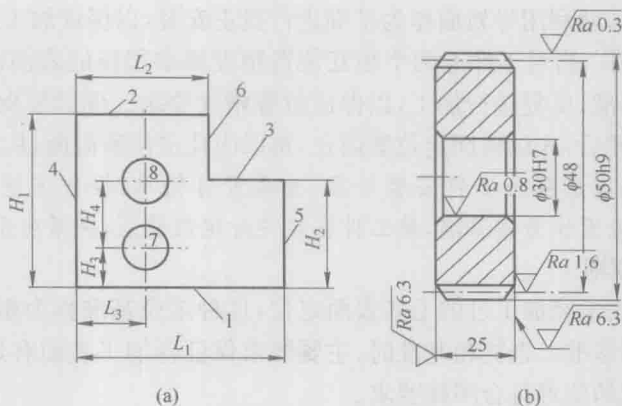


图 1-1 设计基准分析

(a) 台阶零件; (b) 齿轮零件

位基准。它是工件上与夹具定位元件直接接触的点、线或面。如图 1-1a 所示零件,加工平面 3 和 6 时是通过平面 1 和 4 放在夹具上定位的,所以,平面 1 和 4 是加工平面 3 和 6 的定位基准。又如图 1-1b 所示的齿轮零件,加工齿形时是以内孔和一个端面作为定位基准的。根据工件上定位基准的表面状态不同,定位基准又分为精基准和粗基准。精基准是指已经过机械加工的定位基准,而没有经过机械加工的定位基准则为粗基准。

2) 工序基准 在工艺文件上用以标定被加工表面位置的基准,称为工序基准。

3) 装配基准 装配时用以确定零件在机器中位置的基准,称为装配基准。

4) 测量基准 零件检验时,用以测量已加工表面尺寸及位置的基准,称为测量基准。

**注意** 作为基准的点、线、面在工件上并不一定具体存在。例如轴心线、对称平面等,它们是由某些具体存在的表面来体现的。用以体现基准的表面称为基面。如图 1-1b 中加工齿顶圆的基准是  $\phi 30H7$  孔轴线,实际加工中采用心轴与该孔配合,所以  $\phi 30H7$  孔内圆柱面就是基准轴线的基面。

## (二) 定位基准的选择原则

选择定位基准时,是从保证工件加工精度要求出发的。因此,定位基准的选择应先选择精基准,再选择粗基准。

### 1. 精基准的选择原则

工件选用已加工过的表面定位,这种定位基准称为精基准。选择精基准时,主要应考虑保证加工精度和安装方便可靠,其选择原则如下:

1) 基准重合原则 尽可能选择设计基准作为精基准,称为基准重合原则。基准重合可以消除因基准不重合而产生的基准不重合误差,从而提高零件的加工精度。

2) 基准统一原则 尽可能采用同一组基准定位来加工零件上尽可能多的表面,称为基准统一原则。这样做可以简化工艺规程的制订工作,减少夹具设计、制造工作量和成本,缩短生产准备周期,而且减少了基准转换,便于保证各加工表面的相互位置精度。例如加工轴类零件时,采用两中心孔定位加工各外圆表面,就符合基准统一原则。箱体零件采用一面两孔定位进行加工通常也符合基准统一原则。

3) 自为基准原则 对于工件上重要表面的精加工,必须选择该表面本身作为基准。例



如磨削车床导轨面时,就利用导轨面作为基准进行找正安装,以保证加工余量少而且均匀。

4) 互为基准原则 当对工件上两个相互位置精度要求很高的表面进行加工时,需要用两个表面互相作为基准,反复进行加工,以保证位置精度要求。例如要保证精密齿轮的齿圈跳动精度,在齿面淬硬后,先以齿面定位磨内孔,再以内孔定位磨齿面,从而保证位置精度。

**注意** 所选精基准应保证工件安装可靠,夹具设计简单、操作方便。尽量选择精度较高、安装稳定可靠的表面作为精基准,使工件在装夹时定位稳固,夹紧变形小。

## 2. 粗基准选择原则

加工工件时,选用未经加工过的毛坯表面定位,这种定位基准称为粗基准。粗基准选择主要是尽快加工出精基准。选择粗基准时,主要要求保证各加工表面有足够的余量,使加工表面与不加工表面间的位置符合图样要求。

1) 加工余量均匀性原则 如果要求保证工件上某重要表面的加工余量均匀,则应选择该表面为粗基准。例如,车床床身粗加工时,为保证导轨面有均匀的金相组织和较高的耐磨性,应使其加工余量适当而且均匀。因此应选择导轨面作为粗基准来加工床身地脚平面,再以地脚平面为精基准加工导轨面。

2) 保证位置精度原则 若零件上有某个表面不需要加工,则应尽量选择这个表面为粗基准。这样做能提高加工表面与不加工表面间的位置精度。

(1) 如果工件上有好几个不加工面,则应选其中与加工面位置要求较高的不加工面为粗基准。

(2) 如果零件上每个表面都要加工时,则应选加工余量和位置误差最小的表面作为粗基准。

**注意** 粗基准在同一尺寸方向上只能使用一次。因为毛坯面粗糙且精度低,因重复使用将产生较大的误差。作为粗基准的表面,应尽量平整光洁,有一定面积,以保证工件定位可靠、夹紧方便。实际上,无论精基准还是粗基准的选择,上述原则都不可能同时满足,有时还是互相矛盾的。因此,在选择时应根据具体情况进行具体分析,权衡利弊,保证其主要的要求。

## 二、工件的安装

安装是指工件在机床上定位、夹紧的工艺过程。安装包括两个步骤,一个是定位,一个是夹紧,先定位后夹紧。定位是使工件在机床(或夹具)上占据正确的位置以保证加工要求。夹紧是为了保证工件在机床或夹具上正确的定位不会在加工中被外力所破坏。

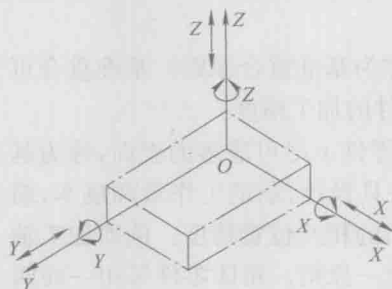


图 1-2 定位空间物体的  
六个自由度

### (一) 六点定位原理

#### 1. 六个自由度

如图 1-2 所示,空间物体具有六个自由度。这六个自由度由三个平移自由度和三个旋转自由度构成。

(1) 工件分别称为沿 X 轴、Y 轴、Z 轴的平移自由度。

(2) 工件分别称为绕 X 轴、Y 轴、Z 轴旋转自由度。

表述一个工件在空间的不同位置,就是这六个自由度不同状态的综合结果。要使工件在空间占据完全确定的位置,就必须限制工件的六个自由度。